

令和 5 年 6 月 22 日現在

機関番号：16101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2022

課題番号：18K04659

研究課題名（和文）津波避難困難地域の解消につながる都市内グリーンインフラストラクチャーの創出手法

研究課題名（英文）Design of urban green infrastructure aimed at eliminating tsunami evacuation difficulty area

研究代表者

山中 亮一（YAMANAKA, Ryoichi）

徳島大学・環境防災研究センター・准教授

研究者番号：50361879

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：海岸に近い市街地における津波被害を低減し、現地復興の可能性を高めることを目的に、低未利用地に津波制御と日常の利活用を両立するような構築物を提案し、その津波低減効果をケーススタディにより検討した。研究内容としては、現地踏査による対象地の土地利用調査、マスタープランなどの各種計画の調査、これらに基づき、対策案の提案とそれによる津波低減効果の数値解析による評価である。検討の結果、盛り土、陸閘、防波ビルを配置したケースにおいて、津波の遡上が妨げられる効果が認められ、対策の空間配置によって津波遡上をある程度は阻害できる可能性を示すことができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

研究成果の学術的意義としては、市街地での津波浸水を軽減する方法として、日常利用される防災施設を地域の歴史・風土・ニーズに基づき合理的に提案するプロセスを示したこと、これらによる津波軽減効果をより引き出すための方策として、津波の遡上過程に合わせた対策構造物の配置が有効であり、それによる効果がどの程度かを数値的に示したことである。社会的な意義としては、本研究により市街地での復興を含めた防災対策により、建物の残存による現地復興の可能性が向上する可能性があることが示されたことから、今後このようなコンセプトを都市計画に導入することにより、より安全で活気ある地域づくりにつながることを挙げられる。

研究成果の概要（英文）：The objective of this study is to reduce tsunami damage in urban areas near the coast and to increase the possibility of local reconstruction. We proposed a structure that would both control tsunamis and be used in daily life on Underutilized Land, and studied its tsunami reduction effect through a case study. The study consisted of a land use survey of the target site, a study of various plans such as master plans, a proposal of countermeasures based on these plans, and a numerical analysis to evaluate the tsunami reduction effect of the proposed countermeasures. The results of the study showed that the placement of fill, land locks, and wave barriers were effective in preventing the tsunami run-up. This indicates that the spatial arrangement of countermeasures may be able to impede tsunami run-up to some extent.

研究分野：海岸工学

キーワード：津波 数値解析 土地利用 面的防護 低未利用地 都市防災 グリーンインフラ 流況制御

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

(1) 徳島市を対象に液状化による地盤沈下を考慮した南海トラフ巨大地震津波による浸水過程の数値シミュレーションを行い、液状化による地盤沈下を考慮すると津波の到達時刻が最大で10分間も早くなる地域が内陸部に生じることが明らかとなった。そして、津波到達時刻の大きな変化が生じるのは、都市内の周囲より僅かに標高が高い幹線道路や局所的な低平地といった小さな起伏（微小地形）に起因していることを見出した。（山中ら、2017）

(2) 津波の面的多重防護についての研究事例は多数あるものの、都市内の比高の小さい起伏による津波到達の遅延効果やそれを防災インフラとして積極的に活用することについては議論されてこなかった。

2. 研究の目的

(1) これまでの津波防災は沿岸域にのみ海岸構造物を、線的（海岸線上の単体の海岸構造物で防ぐ）もしくは面的（海岸構造物を海陸方向に多重に設置し防ぐ）に用いており、沿岸域を津波が越えてしまった後は、後背地の都市部ではなすすべがなかった。しかし、面的防護の考え方を都市部まで拡張して考えると、津波遡上の先端部での波高は沿岸部のそれより小さく、避難時間を稼ぐ程度の目的であれば、それほど高い構造物でなくても効果が期待できると思われる。本研究では、このような状況を想定し、流体力学の観点からの「遡上する津波（長波）を制御」する手法の可能性を見出す。

(2) 南海トラフ巨大地震を想定外力とし、海岸からの距離が近い街中の低未利用地を活用した津波遡上の制御方法を提案し、その効果を数値的に確かめる。また制御方法の提案に際して、社会的な受容性を担保するため、その土地の風土に着目し、都市計画と景観からそのあり方を検討する。

3. 研究の方法

(1) ケーススタディ

①**対象地域**：四国地域の東側にある徳島県に位置しており、太平洋に面しており小河川を有している。また、海岸から市街地までの距離は100m程度であるため、多重防護策を展開するには距離が短いという地形的な特徴がある。図1は、この地域の標高を色で示しており、河口部の北側にある集落はこの地域の中心部となっている。そして、海に面する東端の地域は海岸砂丘の上であり、周辺よりやや標高が高く神社や水族館が存在する。次に、図中のピンク色の線は堤防の位置を示しており、河口北側のエリアは海岸堤防と河川堤防に囲まれている。また、地方政府の拠点は山の近くにあり、指定避難所の一つとなっている。さらに、この地域には津波避難タワーが複数設置されており、すべて完成した際には避難困難地域は解消されると行政は主張している。

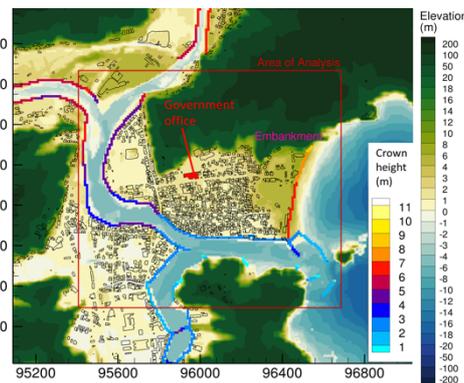


図1 対象地域の地形と都市配置図

②**対象地域が掲げる都市計画・防災計画の調査と現地踏査による土地利用実態調査**：対象地域に関わる都市計画及び防災計画を調べ、掲げられている方針や取組事業、課題点を整理した。調査対象とした地域計画を表1に示す。また、実際の土地利用状況を確認するため、現地踏査を行った。2021年に現地のすべての家屋を訪問し、その利用状況を目視とヒアリングにより確認した。公有地については、利用頻度について周辺の住民にヒアリングを行った。その詳細を表2に整理し示す。

表1. 調査した都市計画・防災計画一覧

計画名	発行元	策定年度
日和佐都市計画 都市計画区域の整備、開発及び保全の方針	徳島県	平成30年3月
美波町都市計画マスタープラン2014	徳島県海部郡美波町	平成26年
美波町地域防災計画	美波町防災会議	令和2年6月
災害に強いまちづくり計画（改訂案）地域モデル：美波町	国土交通省四国地方整備局	平成31年3月

表 2. 現地踏査の概要

項目	調査内容
日時	2021/10/12, AM11:00~PM3:00 2021/12/07, AM11:00~PM3:00
目的	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 実際の町の雰囲気やにぎわいの確認</li> <li>・ 土地利用状況, 空き家の有無の確認</li> </ul>
方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 写真・動画撮影を行いながら地図に表記されている道を踏査する</li> <li>・ 空き家であるかを目視で判断</li> <li>・ 公有地は, 周辺住民 2 名にヒアリングを行い利用頻度について確認</li> <li>・ 集計: 得られたデータを GIS 情報化</li> </ul>

③都市内での津波制御用構造物の提案と津波数値解析による効果検証: 表 1 に示した地域計画等を参考に地域に必要で景観としても異物感が出ないような構造物を提案した。提案する対策の減災効果を数値解析により評価した。適用した解析モデルは、オープンソースの津波解析コードである JAGURS である。これは、非線形長波理論に基づく平面二次元の津波解析モデルである。数値解析の概要を表 3 に示す。計算格子は 810m から 1 m までネスティング法により変化させた。海岸堤防と各家屋の形状は線境界条件として設定し、越流時に完全に倒壊する設定とした。津波により破壊された構造物が漂流する影響は考慮していない。波源モデルは、日本政府による南海トラフ巨大地震を想定した複数の波源のシナリオから最も影響が大きくなるシナリオを選択した。基準水位は、朔望平均満潮位とした。本研究では、提案する構造物の津波の低減効果を評価するため、5 つのケースを作成し津波の浸水予測を行い、最大浸水深と最大流速分布を求めることとした。計算ケースの詳細を表 4 に示す。本研究では現地復興のために建物をより多く残存させることを目標としているため、解析結果の評価指標としては、最大浸水深は 2m、最大流速は 4.2m/s を閾値として用い、これらの数値を下回る範囲の変化に着目することとした。これらの閾値は既往研究による木造建築物の倒壊・流出の目安とされている数値である。

表 3 数値解析の概要

Region to be computed	West Japan, all regions
Area to be analyzed	Southern Tokushima Prefecture
Spatial resolution	810~1m
Building geometry	Displayed as line data
Fault model	Assumption of a major Nankai Trough earthquake by the Central Disaster Management Council
Base water level	The spring mean high tide level TP=0.917(m)
Breach conditions	Total collapse after overflow
Tsunami overtopping on non-collapsed building	Not considered

表 4 計算ケース

	Case A	Case B	Case C	Case D	Case E
盛土		○		○	○
倉庫			○	○	○
陸閘					○

#### 4. 研究成果

(1) **低未利用地に設置する津波対策構造物の提案**：対象地域での低未利用地の基本方針について調べた。その結果、「街中の未利用地は、公共施設用地、居住用地、事業用地等としての活用を図る。災害時の避難場所や避難経路としての利用を検討していく必要がある。」と記載されていた。また、沿岸域の土地利用方針に関しては、「漁業、海上交通、レクリエーション等各種利用に向け、沿岸環境共生を目的とした海域と陸域との一体性に配慮しつつ、長期的な視点に立った総合的な活用を図る」との記載があった。このことから、利用手段の工夫次第で、沿岸域の低未利用地を活用した多重防護策は地域計画に適した対策になることが分かった。現地踏査の結果、130戸中8戸が空き家であることがわかり、少子高齢化が社会問題となっている地域の状況を考えてみると、空き家の割合は少ない印象であった。一方、運動場や老朽化した倉庫群など、遊休地と判断できるエリアがみられた。そこで、本研究では、グラウンドや倉庫など比較的広い面積を使った提案を検討することとした。現地踏査の結果とターゲットとしたエリアを図2に示す。以上の結果を参考に、市街地における多重防護策を3つ提案し、それらの配置図を図3に示す。また、図3での各配置場所の表記を表5にまとめ、そのイメージ図を図4に示す。第一の対策案として盛土を設置する。盛土は南北方向に80m、東西方向に27mとし、盛土の東側の傾斜は約50%の急斜面にし、盛土の西側の傾斜は約20%の緩やかな傾斜とする。また、現状のグラウンドの浸水深は3m程度であるため、盛土の高さは倍の6mとする。盛土の体積は7200 m<sup>3</sup>程度である。第二の対策案は、漁業用倉庫群の改築である。河川沿いには漁業用倉庫群が30軒ほどあり、その周辺の空き地も含めると約4500 m<sup>2</sup>の面積を占めている。そこで本研究での多重防護策としては、その倉庫群を解体し堅牢な建物を新設する。建物は国土交通省の「想定される設計用浸水深に耐えうる建築物の規模例」を参考に、3階建て11mの高さを想定し、面積は19m×54m、25m×33mの2棟とする。第三の対策案は、津波の流路となる道に陸閘を設置することである。1つ目の対策案である盛土を配置することで、盛土の側方から津波が回り込むことが予測されることから、盛土の側方に陸閘を設けることで対処する。現状の地形での盛土側方の浸水深は北側で2~3m、南側で3~4mである。そのため、新しく設置する陸閘の高さは、(北側) ≧3m、(南側) ≧4mとし、盛土を配置したケースの解析結果から高さを設定するものとする。陸閘の長さ(津波作用面)はそれぞれ北側に10m、南側に38mとする。陸閘を選択した理由は、盛土の側方どちらも広いスペースが確保できず道路や墓地となっているため、平常時に支障をきたさないよう緊急時に自動で設置可能な陸閘を設ける。これらを地域計画と対比し評価した結果、1つ目の対策案である盛土に関しては、法面を緑化することで現在は裸地であるグラウンドの緑化に寄与すると考えられた。また、海辺を見ることができるとなる展望台となることや、グラウンド利用時の観覧席として使用できるように階段を設けることで地域住民の憩いの場の創出につながると考える。2つ目の対策案である倉庫群の改築については、防浪ビルを前提とした堅牢な建物を、道の駅のような商業施設として活用することで、利便性の向上や地場産業の活性化につながると考えられた。また、屋上緑化や壁面緑化をすることで、グリーンインフラとしての機能発揮も期待できる。最後に、3つ目の対策案である陸閘については、フラップゲート式を用いることで平時の交通網を妨げず、陸閘に地域のシンボルであるウミガメのイラストを描くことで、近隣のウミガメ博物館の宣伝にも役立つと考えられる。また、災害時には津波による被害を低減することで、背後の歴史的な街並みを保全できる可能性があると考えた。



図2 現地踏査の結果

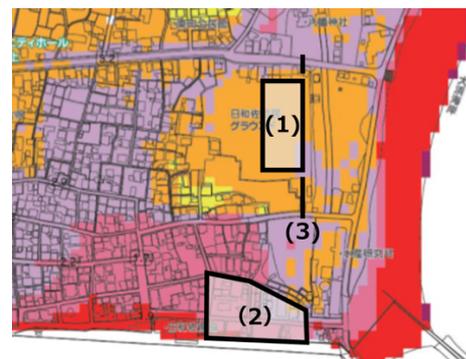


図3 提案(1)~(3)の配置図

表5. 多重防護策と配置場所

多重防護策	場所
対策1：盛土	(1)
対策2：倉庫群の改築	(2)
対策3：陸閘	(3)



図4 各対策のイメージ図

(2) 数値解析による津波低減効果の評価：現状（シナリオ1）と3つの対策を含めた地形（シナリオ2）のそれぞれに対し、津波浸水計算を実施し、最大津波浸水深、最大津波流速などを評価した。図5では、最大浸水深が2.0m以下の地点のみを選択し、色付けした。左図はシナリオ1の結果、右図はシナリオ2の結果である。両図を比較すると、赤い破線で示した場所で、浸水深が2.0m以下になっている。特に盛り土は効果があるもののその影響範囲は限られていた。図6では、最大速度が4.2m/s以下となる場所を示している。シナリオ2の赤い点線で示したエリアでは、対策後に最大流速が4.2m/s以下に変化した地点を表しており、津波の流速低減効果が津波の上流方向へ広がることがわかった。都市域はもともと流速が低いので、大きく変化したのは堤防や洪水壁の裏側のエリアであった。最後に、考察として図7を示す。図中の色は、対策前の地形での結果と比較した最大浸水深の差（差分図）を示している。左図の結果によると、対策2だけでは最大浸水深にほとんど影響を与えないが、右図より、すべての対策を適用した結果では最大浸水深が低減したエリアが対策2の周辺でも認められる。この理由を検討した結果、津波の遡上経路に着目すると、対策1と3で遮られた津波が対策2に流れ込み、対策2による最大浸水深の減少を引き起こしていることがわかった。このことから、1つの構造物だけでは効果が限定的であっても、他の構造物と組み合わせることで津波の軽減効果を高めることができる可能性があることを示した。以上が本研究課題による主たる成果である。本研究ではこの他にも、台風による長周期波による越流被害についても検討したが、主題とは異なるため省略する。

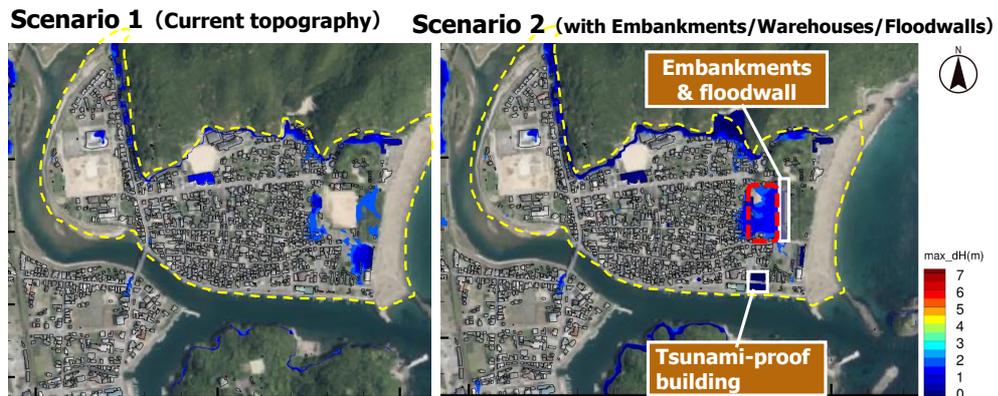


図5 最大浸水深の比較（2m以下のエリアのみ）

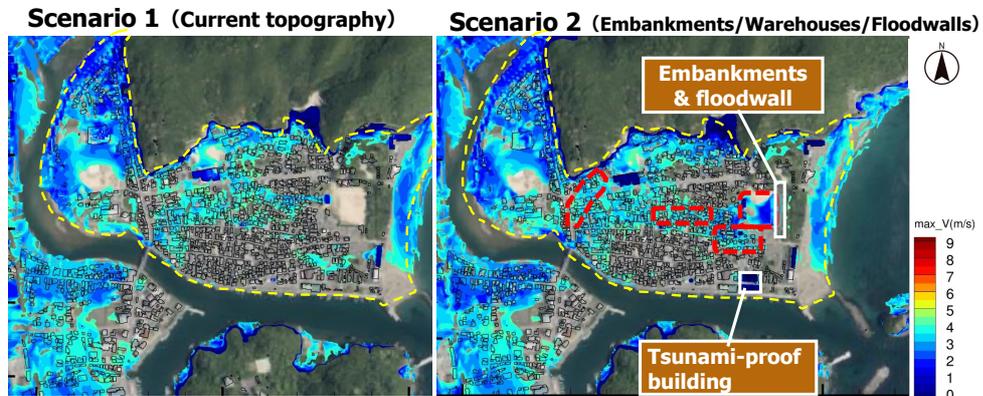


図6 最大流速の比較（4.2m/s以下のエリアのみ）

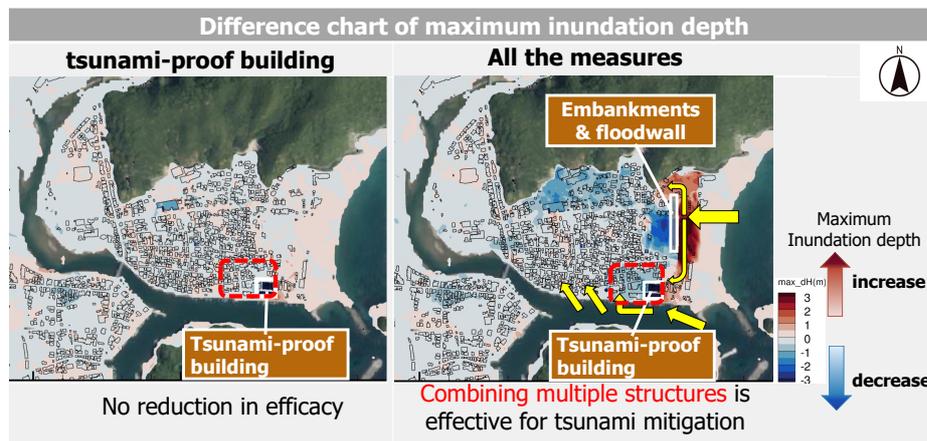


図7 最大浸水深の差分図（左図は対策2のみ、右図は全ての対策を含む結果）

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Ryoichi Yamanaka, Kosuke Nakagawa	4. 巻 1
2. 論文標題 Effectiveness and Sustainability of Coastal Hybrid Infrastructures for Low-Frequency Large-Scale Disasters: A Case Study of Coastal Disaster Assessment for a Complex Disaster.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nakamura, F. (eds) Green Infrastructure and Climate Change Adaptation. Ecological Research Monographs. Springer, Singapore.	6. 最初と最後の頁 305-321
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/978-981-16-6791-6_19	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Ryoichi Yamanaka, Taku Mikami, Moe Takino, Toshitaka Baba, Kosuke Nakagawa, Yasunori Kozuki	4. 巻 -
2. 論文標題 EFFECTIVENESS OF TSUNAMI MITIGATION STRUCTURES ON UNDERUTILIZED URBAN AREAS: A CASE STUDY ON REDUCING TSUNAMI DAMAGE TO BUILDINGS	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 (Proceedings of )37th International Conference on Coastal Engineering (ICCE 2022)(in print)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kosuke Nakagawa, Ryoichi Yamanaka, Hironori Okegawa, Yasunori Kozuki, Mahito Kamada, Yasunori Muto	4. 巻 -
2. 論文標題 WAVE CHARACTERISTICS AT OSATO COAST, KAIYO-CHO, TOKUSHIMA PREFECTURE, JAPAN, DURING TYPHOON NO.19 IN 2019	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 (Proceedings of )37th International Conference on Coastal Engineering (ICCE 2022)(in print)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 山中亮一, 三上卓, 中川頌将, 瀧野萌, 馬場俊孝, 上月康則
2. 発表標題 河川を有する港町での建物堅牢化による津波浸水過程への影響について
3. 学会等名 土木学会四国支部第27回技術研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山中亮一, 瀧野萌, 三上卓, 中川頌将, 上月康則, 松重摩耶, 馬場俊孝, 安田真哉
2. 発表標題 市街地内における津波多重防護策の提案とその効果について
3. 学会等名 土木学会四国支部第28回技術研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ryoichi Yamanaka, Taku Mikami, Moe Takino, Toshitaka Baba, Kosuke Nakagawa, Yasunori Kozuki
2. 発表標題 EFFECTIVENESS OF TSUNAMI MITIGATION STRUCTURES ON UNDERUTILIZED URBAN AREAS: A CASE STUDY ON REDUCING TSUNAMI DAMAGE TO BUILDINGS
3. 学会等名 37th International Conference on Coastal Engineering (ICCE2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中川頌将, 山中亮一, 桶川博教, 安田真哉, 瀧野萌, 上月康則
2. 発表標題 徳島県海陽町大里海岸における2019年台風19号来襲時の波浪特性について
3. 学会等名 土木学会四国支部第28回技術研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kosuke Nakagawa, Ryoichi Yamanaka, Hironori Okegawa, Yasunori Kozuki, Mahito Kamada, Yasunori Muto
2. 発表標題 WAVE CHARACTERISTICS AT OSATO COAST, KAIYO-CHO, TOKUSHIMA PREFECTURE, JAPAN, DURING TYPHOON NO.19 IN 2019
3. 学会等名 37th International Conference on Coastal Engineering (ICCE 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------